



Environmental-EFFORT

**Per una migliore comprensione
delle risposte delle foreste
agli stress ambientali**

Relazione attività 2013

Elena Gottardini, Fabiana Cristofolini, Antonella Cristofori

Fondazione Edmund Mach

*Via E. Mach 1, 38010 San Michele
all'Adige (TN)*

Marco Ferretti

TerraData environmetrics

*Via L. Bardelloni 19, 58025
Monterotondo Marittimo (GR)*

Gennaio 2014

Introduzione

La caratteristica principale di Environmental-EFFORT (E-EFFORT) è stato l'ampliamento concettuale del precedente progetto Ozone-EFFORT con l'obiettivo di approfondire le conoscenze relative alle risposte delle piante a fattori di stress ossidativo (tra cui l'ozono), utilizzando diversi indicatori di risposta.

A tale scopo è stato adottato un disegno sperimentale sfruttando un gradiente altitudinale, in modo da relazionare i dati relativi a diversi indicatori di risposta misurati su piante di abete rosso (variabili morfologiche e fisiologiche) con le variabili ambientali dipendenti dalla quota (T, UR, O₃, NO₂).

Struttura dello studio

Lo studio si è svolto da maggio ad agosto 2013 ed è stato articolato nelle attività di seguito elencate.

1. Disegno sperimentale

- Individuazione dell'area di studio;
- Definizione dell'estensione altimetrica del transetto;
- Definizione del numero ed estensione degli step altimetrici (siti);
- Definizione del criterio di selezione e numero di repliche per ogni sito (plot);
- Definizione della struttura del plot;
- Numero e caratteristiche delle piante da considerare.

2. Installazione dei siti e dei plot

- Ispezione del territorio e verifica dell'idoneità del transetto (accessibilità, permessi dei privati);
- Individuazione dei plot e marcatura;
- Individuazione e georeferenziazione delle piante idonee.

3. Misure stazionali

- Misure in continuo - temperatura (T, °C), umidità relativa (U.R., %) con datalogger (1 acquisizione ogni 15 min);

- Misure con cadenza settimanale - concentrazioni di ozono (O₃) e biossido di azoto (NO₂) con campionatori passivi Attalea;
- Misure una tantum - Leaf Area Index (LAI).

4. Misure sulle piante

- Stato chiome - defogliazione, trasparenza, presenza e diffusione di danni ¹;
- Fluorescenza della clorofilla *a* ² (n=9 alberi x 15 rametti per albero, ripetuto per anno C-0 e C-1) e contestuale raccolta dei campioni per le analisi successive (biometria e isotopi);
- Biometria - accrescimento rametti anno C_0 (n=9 alberi x 45 rametti per albero), peso secco aghi anno in corso (n=9 alberi x 900 aghi per albero);
- Isotopi del carbonio e dell'ossigeno.

Risultati

Disegno sperimentale e installazione di siti e plot

L'area di studio ha interessato la Val Canali, individuando una porzione di versante da Tonadico verso N-NE con estensione altimetrica da ca. 809 m s.l.m. a 1560 m s.l.m., seguendo la linea di massima pendenza e con dimensione di ca. 920 m x 3200 m (ca. 300 ettari). All'interno della zona sono stati individuati tre range altitudinali entro i quali posizionare i siti di studio: 900-1000, 1100-1200, 1500-1600 m s.l.m.. Per ogni fascia di quota sono state identificate tutte le aree aperte idonee (5 per ogni fascia) e tra queste ne è stata estratta una casualmente (Tabella 1; sito 1.0; 2.0; 3.0). Nella parte centrale di ciascuna delle tre aree aperte è stato installato un punto di misura di variabili meteo e di inquinanti (questi ultimi su due altezze, a 2 e 5 metri da terra). E' stato inoltre aggiunto un

¹ La valutazione dello stato delle chiome è stata eseguita in base alle indicazioni riportate nel Manuale ICP-Forests (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents*). E' inoltre stato utilizzato il materiale iconografico di riferimento *Sanasilva. Le chiome degli alberi* (Ed. WSL, Birmensdorf, CH).

² L'analisi della fluorescenza della clorofilla *a* è stata effettuata sulla base dei risultati ottenuti con lo studio preliminare effettuato nel 2012, descritto in: *Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Ferretti M. Finalizzazione del progetto Ozone EFFORT e miglioramento della serie di dati. Relazione attività 2012*. L'elaborazione dei dati ha consentito di definire la numerosità campionaria necessaria con 10% di scarto dalla media e P=95%. In pratica, suddivisa la profondità della chioma in tre porzioni uguali, si prelevano - rispettivamente dalla parte alta, media e bassa - n=3, 3 e 9 rametti; su ciascuno di essi si effettuano 3 repliche di misura.

ulteriore sito di misura alla base (fuori) del transetto (Tonadico, sito 0.0), per meglio descrivere il gradiente altitudinale dei parametri ambientali misurati (Figura 1).

Tabella 1. Siti e plot individuati lungo il transetto.

Località	Sito	Plot	Quota, m s.l.m.	Posizione	Azimut del plot in bosco da posizione passivo area aperta	Long.	Lat.
Tonadico, via Roma	0	0	748	area aperta	-	718635	5118355
Tonadico, Man longa	1	0	913	area aperta	-	719475	5118788
		1	907	bosco	104	719653	5118731
		2	908	bosco	220	719418	5118758
		3	927	bosco	291	719323	5118840
Strina	2	0	1177	area aperta	-	719364	5119730
		1	1214	bosco	100	719521	5119726
		2	1179	bosco	170	719421	5119633
		3	1185	bosco	290	719110	5119775
Rodena	3	0	1521	area aperta	-	719783	5121564
		1	1544	bosco	60	719882	5121629
		2	1504	bosco	210	719698	5121429
		3	1547	bosco	330	719751	5121626

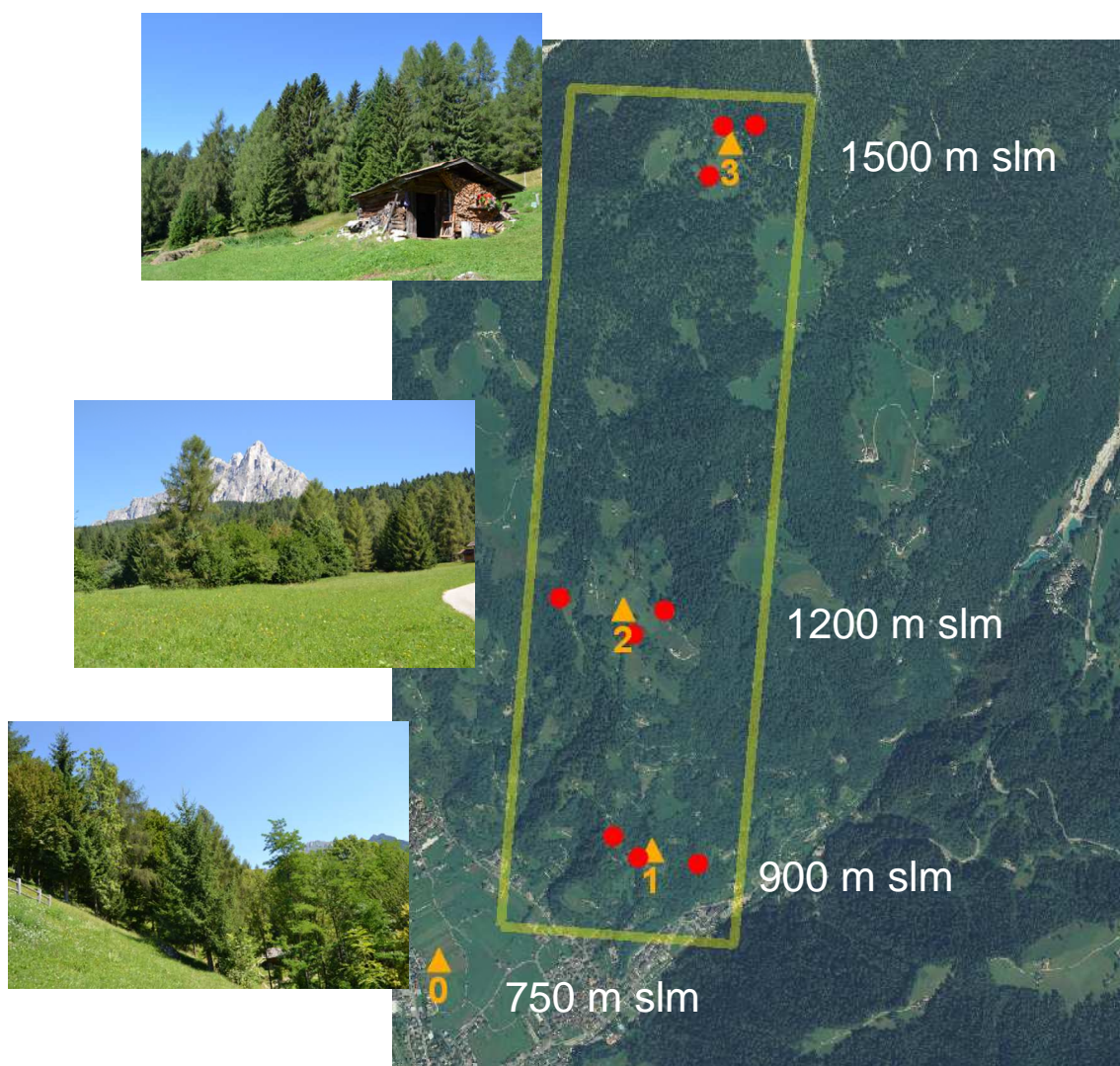


Figura 1. Struttura del transetto altitudinale della val Canali.

Partendo dal centro ogni area aperta (= punto di installazione dei sensori ambientali), sono stati individuati tre settori azimutali (1-120°, 121-240°, 241-360°); per ognuno è stata selezionata una direzione casuale. Per ogni direzione è stato posizionato un punto di misura di variabili meteo e di inquinanti in bosco (plot), ad almeno 10 metri dal margine dell'area aperta (plot x.1, x.2, x.3) (Figura 2).

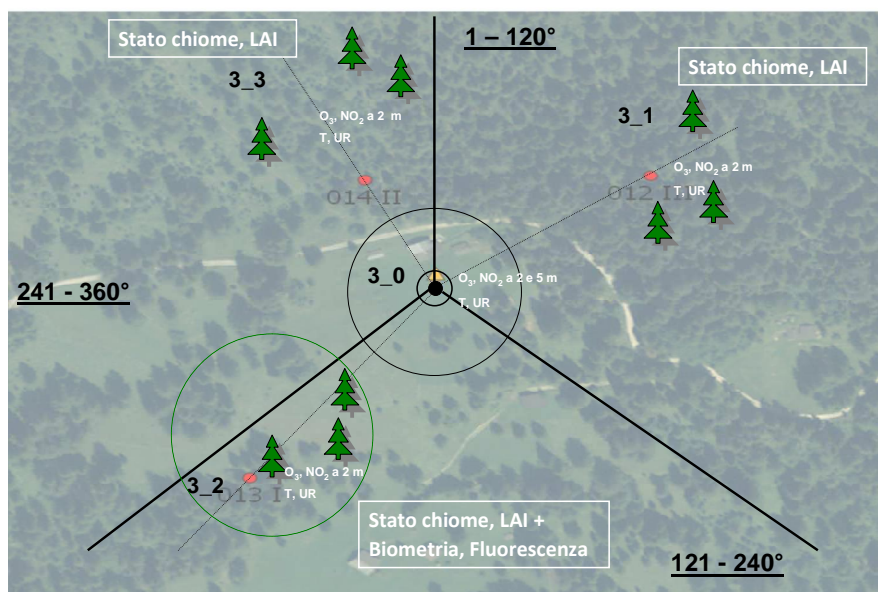


Figura 2. Esempio di disegno sperimentale di un sito (sito 3).

In ogni plot sono state individuate le tre piante di *Picea abies* L. più vicine al punto di misura meteo e inquinanti, procedendo in senso orario (Tabella 2).

Tabella 2. Alberi selezionati in ciascun plot.

Sito	Plot	Albero	Circonferenza, cm	Azimut dal centro plot, °	Distanza dal centro plot, m
1	1	1	167	305	7.2
		2	77	50	10.1
		3	174	185	23.4
	2	1	123	320	6.4
		2	108	180	14
		3	74	195	13
	3	1	85	150	1.9
		2	61	200	2.45
		3	66	280	4.1
2	1	1	101	310	6.65
		2	64	360	9.5
		3	68	70	6.35
	2	1	163	150	14.9
		2	105	65	21.1
		3	66	100	16.35
	3	1	98	300	3.5
		2	62	350	6.3
		3	99	50	6.6
3	1	1	112	340	1.5
		2	98	45	4.35
		3	85	160	3.8
	2	1	103	200	1.8
		2	87	310	4.35
		3	97	30	4.9
	3	1	52	300	3.5
		2	100	80	4.3
		3	123	190	4.2

Misure stazionali

Le misure degli inquinanti hanno consentito di confermare un andamento delle concentrazioni medie collegato all'altitudine, con diminuzione del biossido di azoto ed aumento dell'ozono all'aumentare della quota (Figura 3).

I dati di concentrazione settimanale di ozono e di biossido di azoto misurati nei plot e siti del transetto sono riportati rispettivamente in Tabella 3 e Tabella 4.

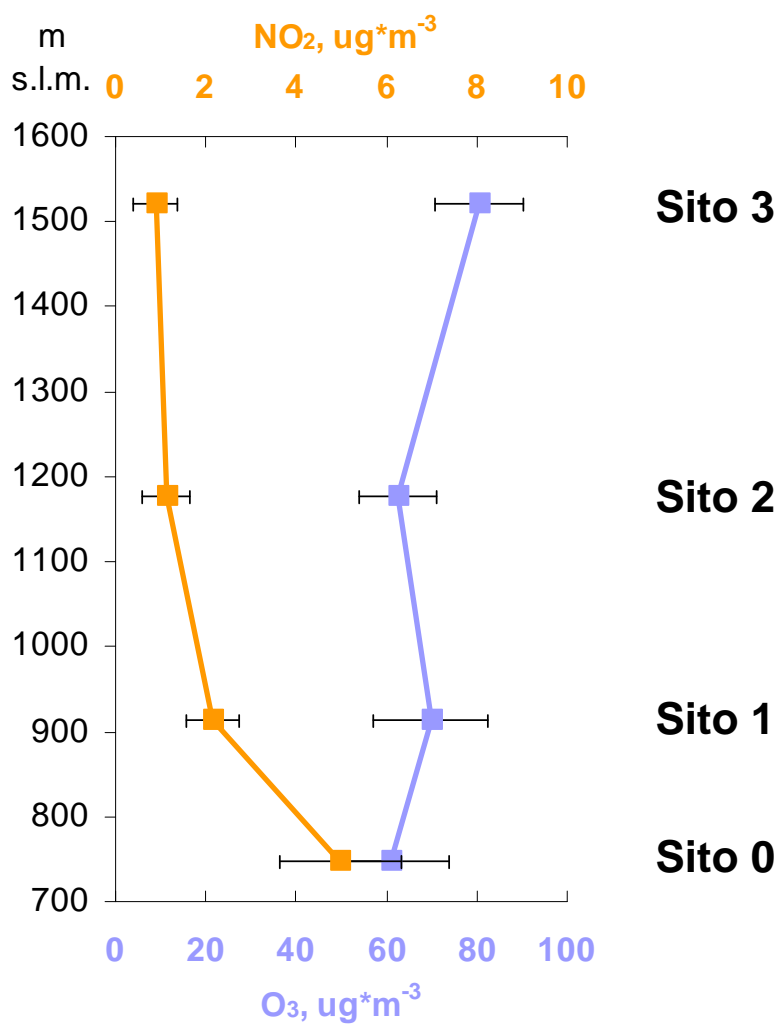


Figura 3. Andamento medio delle concentrazioni medie di biossido di azoto e ozono in funzione della quota. Gli inquinanti sono stati misurati settimanalmente da maggio ad agosto 2013 in Val Canali, Primiero (TN). Le barre rappresentano la deviazione standard.

Le misure eseguite parallelamente in bosco e in area aperta hanno consentito di verificare che in bosco le concentrazioni medie di ozono sono significativamente inferiori. Questo conferma l'importante ruolo della vegetazione nella riduzione degli inquinanti atmosferici (Figura 4).

$[O_3]$ media in aree aperte = $71.3 \mu g \cdot m^{-3}$

$[O_3]$ media in bosco = $64.8 \mu g \cdot m^{-3}$



O_3 in bosco -9% rispetto alle aree aperte ($P < 0.05$)

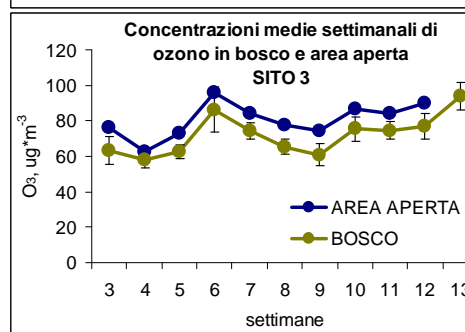
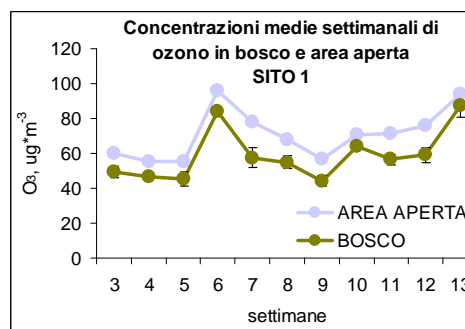
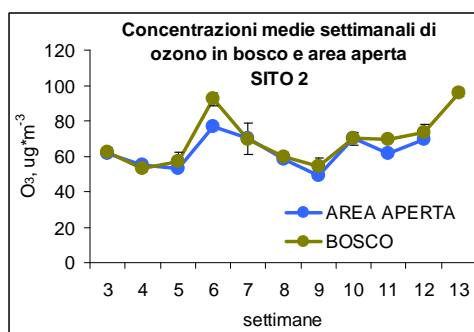


Figura 4. Andamento temporale delle concentrazioni di ozono misurate nei tre siti, parallelamente in area aperta e nei rispettivi tre plot in bosco.

Anche considerando l'indicatore di esposizione all'ozono AOT40, si osserva che una consistente porzione di ozono accumulato viene rimossa dalla presenza del bosco (Figura 5).

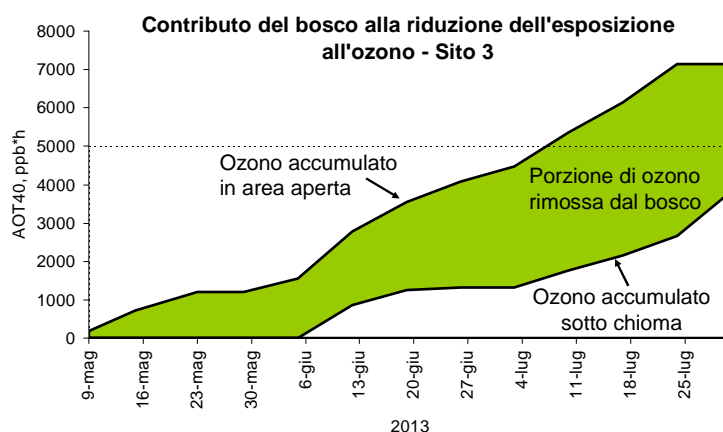


Figura 5. Andamento temporale dell'esposizione all'ozono nel sito 3, calcolata in bosco ed in area aperta. La zona verde evidenzia la porzione rimossa dal bosco.

Tabella 3. Concentrazioni settimanali di ozono rilevate in ciascun sito e plot del transetto in val Canali nel 2013. I valori sono espressi in $\mu\text{g m}^{-3}$.

		<i>dal</i>	9/5	15/5	23/5	29/5	5/6	12/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	
Sito	Plot	<i>al</i>	15/5	23/5	29/5	5/6	12/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	Media
0	0		56.3	53.5	54.6	50.1	42.6	77.9	62.9	60.3	48	69.9	63.5	59.3	92.1	63.7		61.1
1	0		63.6	61.3	60.0	55.3	55.6	96.2	77.8	68.1	56.6	70.7	71.6	75.8	94.2	73.9	65.3	69.7
	1				52.4	47.6	49.2	83.9	61.4	58.4	47.0	64.2	59.4	60.1	88.4			61.1
	2				45.9	45.3	41.3	82.7	50.9	51.1	41.1	63.1	53.3	54.5	80.1			55.4
	3				50.6	47.1	45.0	85.2	60.2	55.0	44.9	65.0	57	62.8	93.8			60.6
2	0		55.6	58.5	61.7	54.9	53.3	76.7	70.2	58.1	49.0	70.1	61.8	69.3		75	59.7	62.4
	1				60.6	50.9	54.0	92.9	63.1	61.4	53.2	68.1	69.4	73.3	98.9			67.8
	2				60.5	53.5	54.6	88.1	66.4	56.3	49.9	67.8	68.7	69.8	93.9			66.3
	3				65.4	54.3	63.2	95.4	79.6	61.0	59.8	73.8	70.8	77.9	95.3			72.4
3	0		68.9	77.7	76.5	62.6	72.9	95.9	84.2	77.5	74.1	87.0	84.1	90.0		96.7	79.9	80.6
	1				67.3	57.0	60.9	74.1	70.6	61.8	55.8	73.3	68.8	70.1	85.2			67.7
	2				68.2	62.0	66.9	99.5	79.4	69.8	67.7	83.0	77.6	84.8	100.8			78.2
	3				54.5	54.2	59.5	85.5	72.6	65.0	58.7	69.8	77.2	76.0	95.4			69.9

Tabella 4. Concentrazioni settimanali di biossido di azoto rilevate in ciascun sito e plot del transetto in val Canali nel 2013. I valori sono espressi in $\mu\text{g m}^{-3}$.

		<i>dal</i>	9/5	15/5	23/5	29/5	5/6	12/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	
Sito	Plot	<i>al</i>	15/5	23/5	29/5	5/6	12/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	Media
0	0		5.5	4.8	4.7	6.7	3.7	4.7	4.1	4.1		3.7				7.8		5.0
1	0		2.2	2.8	3.0	3.0	1.6	2.2	2.9	1.3	1.5	1.9	2.4	1.8	2.2	1.5	1.9	2.1
	1				2.4	2.7	1.8	2.7	3.4	1.5	1.3	2.5	1.9		2.4			2.3
	2				2.7	2.7	2.0	2.0	3.6	1.8	1.3	1.7	2.2	1.8	1.5			2.1
	3				2.4	2.7	2.0	2.9	2.9	1.8	1.8	2.1	1.9	0.6	4.7			2.3
2	0		1.0	1.2	0.4	0.9	0.9	1.8	1.8	0.6	0.4	1.5	0.8	0.8	1.9		1.7	1.1
	1				1.3	1.1	1.1	2.0	2.0	0.6	1.5	1.1	0.8	0.4	1.7			1.2
	2				0.4	1.1	3.0	1.1	1.3	0.6	0.9	1.9	1.0	0.8	1.7			1.3
	3				0.7	1.4	0.9	1.3	1.3	0.4	0.9	1.3	0.8	0.2	1.5			1.0
3	0		0.7	0.1	1.0	0.9	1.1	1.1	1.8	0.0	0.9	1.1	0.8	0.6	1.7	0.9	0.6	0.9
	1				0.7	0.9	0.6	1.1	1.3	0.0	0.6	0.9	1.0	0.6	1.3			0.8
	2				1.0	0.9	0.6	1.5	1.1	0.0	1.1	0.9	0.6	0.4	1.5			0.9
	3				1.0	0.9	0.6	1.3	1.8	0.4	0.6	0.0	0.8	0.4	1.5			0.8

Anche per quanto riguarda l'aspetto climatico, si è osservato un ruolo importante della vegetazione nel mitigare le temperature, soprattutto le massime che in bosco sono risultate mediamente inferiori di 8°C rispetto all'area aperta (Figura 6).

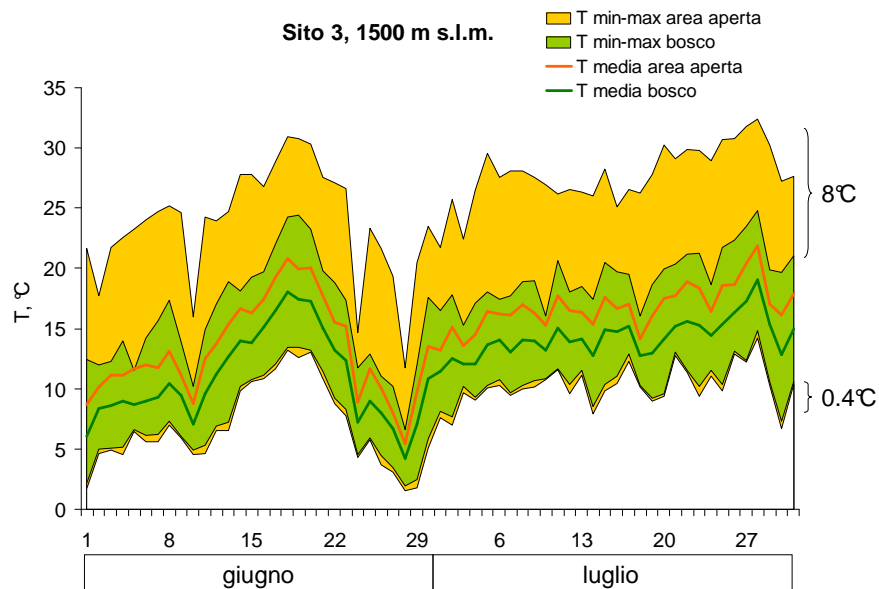


Figura 6. Andamento temporale delle temperature minime, medie e massime misurate nel sito 3, in area aperta e nei tre plot in bosco.

Misure sulle piante

Gli indicatori visivi (stato chiome), biometrici (lunghezza rametti e peso secco aghi) e funzionali (fluorescenza clorofilla *a*: fluorescenza basale, F_0 ; resa quantica massima delle reazioni fotochimiche primarie, F_v/F_m) sono stati rappresentati in relazione alla quota per valutare visivamente eventuali dipendenze.

Si osserva un netto, ma non generalizzato aumento dei valori di trasparenza, defogliazione e danni all'aumentare della quota (osservazioni effettuate nei 3 plot per ciascun sito, su 3 alberi per plot) (Figura 7 a).

Netta e generalizzata è invece la diminuzione dell'accrescimento in lunghezza dei rametti dell'anno e del peso degli aghi all'aumentare della quota (Figura 7 b).

Si osserva inoltre l'aumento di F_0 (che corrisponde ad una diminuzione dei siti attivi del fotosistema II) e la netta diminuzione dell'efficienza fotosintetica (F_v/F_m) all'aumentare della quota.

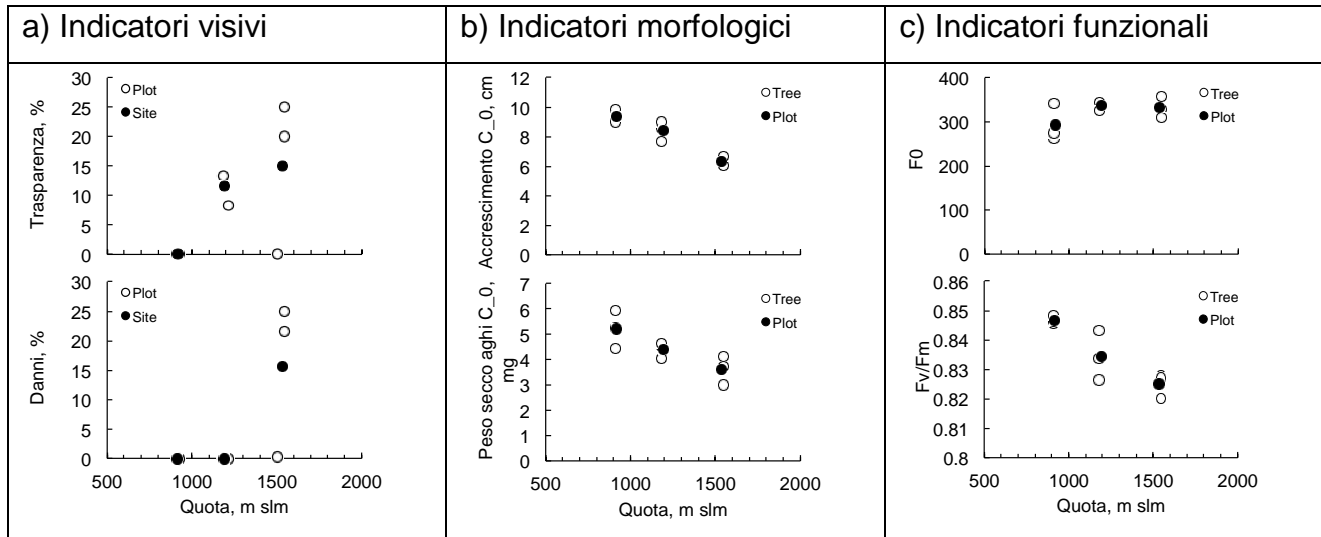


Figura 7. Andamento degli indicatori visivi, morfologici e funzionali rilevati nei siti del transetto in funzione della quota.

Mettendo in relazione indicatori visivi e biometrici (Figura 8), si osserva che alberi con chioma più trasparente hanno aghi più leggeri e minori accrescimenti. Tale andamento è solo in parte condizionato dalla quota.

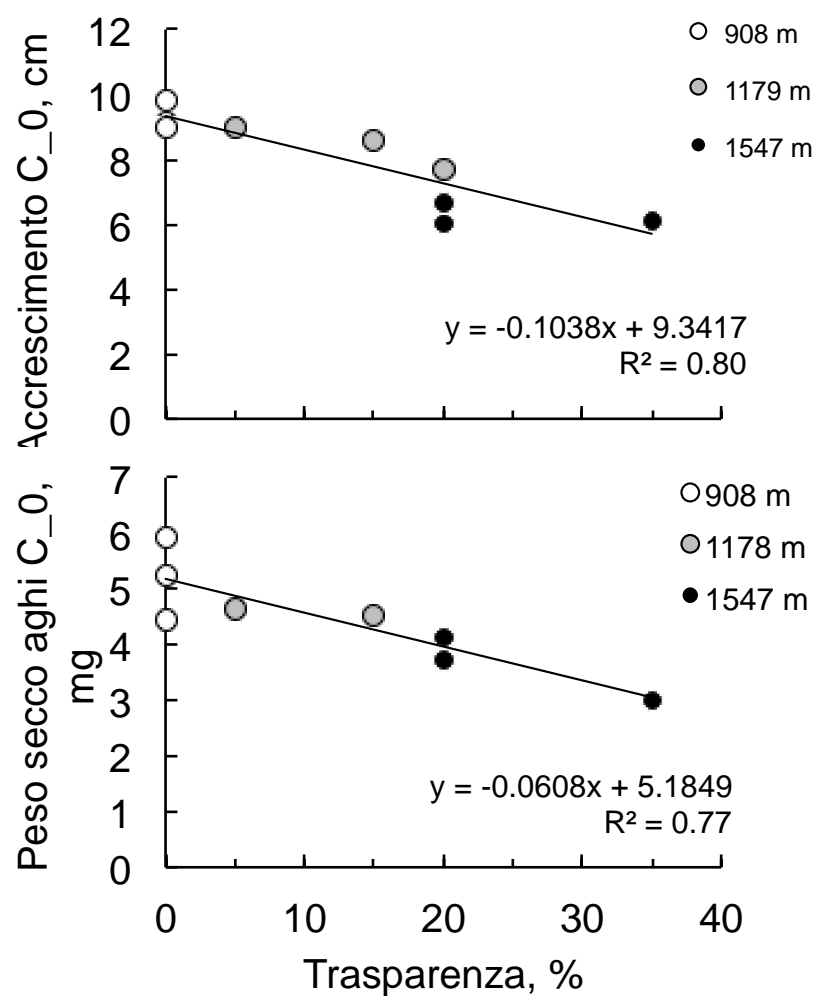


Figura 8. Relazione tra indicatori visivi (trasparenza) e morfologici rilevati su abete rosso nei siti del transetto.

Alberi con chioma più trasparente presentano inoltre aghi con minore efficienza fotosintetica (Figura 9); anche in questo caso l'andamento è solo in parte condizionato dalla quota.

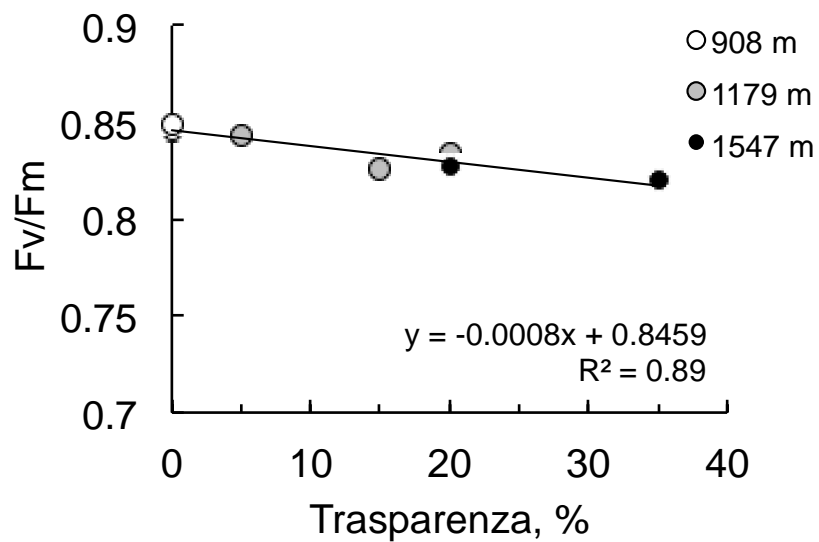


Figura 9. Relazione tra indicatori visivi (trasparenza) e funzionali rilevati su abete rosso nei siti del transetto.

E' inoltre evidente una relazione diretta tra accrescimento e peso secco degli aghi ed efficienza fotosintetica (Figura 10), con andamento solo in parte condizionato dalla quota.

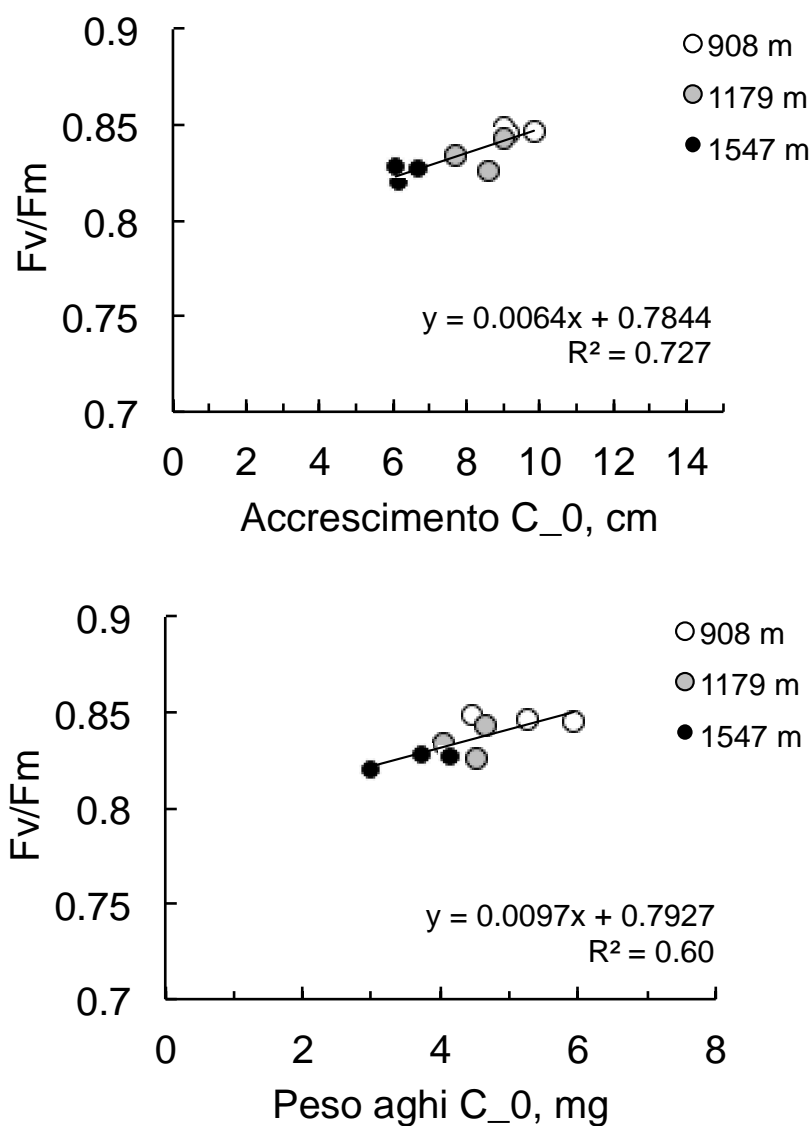


Figura 10. Relazione tra indicatori morfologici e funzionali rilevati su abete rosso nei siti del transetto.

I dati relativi alle analisi degli isotopi del carbonio e dell'ossigeno sono tutt'ora in fase di elaborazione.

Sintesi e discussione

Il lavoro svolto sul transetto altitudinale in Val Canali ha consentito di verificare un netto aumento delle concentrazioni di ozono e una diminuzione delle concentrazioni di biossido di azoto con la quota, nonostante i generali bassi livelli di questi due inquinanti.

Per quanto riguarda i servizi ecosistemici, attraverso le misure effettuate parallelamente in bosco ed in area aperta è stato verificato che la copertura forestale riduce in maniera statisticamente significativa i livelli di ozono e mitiga gli estremi di temperatura, soprattutto dei valori massimi.

Le condizioni degli alberi esaminati sono risultate in genere buone, anche se tendono a peggiorare con la quota.

Gli indicatori utilizzati per valutare le piante hanno fornito dati tra loro coerenti: alberi con maggior grado di defogliazione e/o chioma trasparente crescono meno ed i loro aghi hanno peso inferiore e sono meno efficienti nella fotosintesi.

I dati raccolti hanno dunque permesso essenzialmente di valutare:

- l'effetto del bosco sulla regolazione della qualità dell'aria, anche in una zona a relativamente basse concentrazioni di ozono;
- la coerenza tra indicatori di diversa natura: visivi - biometrici - fisiologici

Tali evidenze portano a prospettare interessanti sviluppi nell'ottica di:

- i) valutare in maniera più estensiva il ruolo della vegetazione nella depurazione dell'aria
- ii) interpretare i dati di monitoraggio delle foreste, tradizionalmente basati su indicatori visivi e morfologici, anche in chiave funzionale.

Si ringraziano:

- Il Direttore del Parco Paneveggio - Pale di San Martino per il supporto logistico;
- Maurizio Salvadori del Parco Paneveggio - Pale di San Martino per la collaborazione nelle fasi di sopralluogo, installazione dei siti, sostituzione dei campionatori passivi;
- Federica Camin della Fondazione Edmund Mach per l'analisi degli isotopi.